



НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПРОБЛЕМИ В ОСВІТІ

УДК 378.147.31:53

СИСТЕМНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТРАДИЦІЙНИХ ПРОБЛЕМНИХ НАВЧАЛЬНИХ ПИТАНЬ ФІЗИКИ

Б.А. СУСЬ, Б.Б. СУСЬ

Розбудова теорій фізичних явищ підлягає ряду принципів. Одним із найважливіших слід вважати принцип узгоджувальності наслідків частинних теорій. На прикладі взаємно доповнювальних хвильової і корпускулярної теорій світла показано, що через відсутність узгоджувальності наслідків цих частинних теорій вони є суперечливими. Запропоновано несуперечливе пояснення двоїстості природи світла на основі об'єднаної корпускулярно-коливної теорії, в якій світло розглядається як потік особливих частинок (фотонів), що перебувають у внутрішньому коливальному стані типу енергія-маса-енергія-маса-... Йдеться про існування фундаментальної коливальної форми руху такого типу. Показано ефективність застосування об'єднаної корпускулярно-коливної теорії для пояснення явища дифракції як інтерференції світла, коли випромінюючими елементами є не відкриті ділянки хвильової поверхні, а гострі краї перепони.

ВСТУП

Наукові теорії є засобом пізнання навколишньої дійсності, але вони є також результатом пізнання, що дає нові можливості їх вдосконалення і подальшого розвитку науки. Науковим теоріям, їх структурі та функціям присвячено роботи багатьох вчених. Кожна теорія розбудовується на основі результатів спостережень, вивчення взаємозв'язку між явищами і процесами, але також на основі вже існуючих теорій шляхом їх вдосконалення. До теорій сформувались певні вимоги, яких необхідно дотримуватись у процесі вдосконалення або розробці нових теорій. Згідно з класифікацією [1] кожна теорія має бути: достовірною і відповідати результатам експерименту; здатною до пояснення фактів, а не тільки для їх описання; бути евристичною, достатньо концентрованою та загальною; внутрішньо несуперечливою та допускати вдосконалення. У своїй предметній галузі теорія має описувати всі явища, бути вичерпною і прогностичною [2]. Дуже важливе значення мають зв'язки між теоріями. Вони проявляються в тому, що існують загальні для всіх теорій поняття і закони. За висновками дослідників зв'язки між теоріями здійснюються на рівні загальних принципів [3]:

- відповідності (нова теорія має зводитися до відомої класичної теорії);
- симетрії (закони фізики мають виражатись рівняннями, інваріантними відносно відповідних просторово-часових перетворень);
- збереження;
- відносності;

- доповнювальності (наприклад, у квантовій механіці квантові уявлення доповнюють хвильові уявлення);
- причинності (наслідок не може передувати причині);
- необхідності та випадковості.

Загалом можна погодитися з названими принципами, однак серед них не вистачає ще одного і, на нашу думку, дуже суттєвого — *принципу узгоджувальності наслідків теорій*. Дамо обґрунтування такого висновку. Більше того, покажемо, що застосування цього принципу спонукає до розвитку фізичних теорій.

Кожна теорія — це певний спосіб описування фізичного явища чи процесу. Не потрібно доводити, що *способи описування можуть бути різними, однак їх результати і висновки — повинні бути однаковими*.

Для підтвердження уявімо собі, що в театрі йде вистава і одночасно відбувається її трансляція по радіо і телебаченню, причому, в телевізорі пропав звук. Один слухач чує, що відбувається на сцені, а інший — бачить, але не чує. Безумовно, що у слухача і в глядача в принципі повинно скластись однакове розуміння того, що відбувається на сцені.

Якщо висновки суперечливі — це свідчить про негаразди з теоріями і їх треба вдосконалювати або шукати нові підходи.

У фізиці є багато проблемних питань, на які нема відповіді протягом сотні років. Зокрема, це проблема двоїстості природи світла; питання механізму поширення електромагнітної взаємодії (Через середовище або як обмін частинками); природа електричного, магнітного, електромагнітного полів (Це певне середовище чи розподіл частинок?); природа гравітації (Чому тіла саме притягуються? Який механізм притягування?). Існують різні нібито взаємно доповнювальні теорії, які описують одне й те ж явище, але нема **узгодження наслідків цих теорій**.

Мета роботи — розкрити суть проблеми двоїстої природи світла, що дія принципу узгодження наслідків частинних теорій дає можливість знайти причини суперечливості хвильового і корпускулярного підходів у поясненні проблемних питань, зокрема у трактуванні явища дифракції.

Покажемо на прикладі проблеми двоїстості природи світла, що дія принципу узгодження наслідків частинних теорій дає можливість знайти пояснення проблемних питань.

РОЗГЛЯД ПРОБЛЕМИ

Проблема двоїстості природи світла виникла 100 років тому і фактично залишилась нерозв'язаною донині. На основі спостережень та експериментальних фактів було відомо, що світло — це хвилі, що незаперечно підтверджується явищами інтерференції і дифракції. Було побудовано теорію хвильових явищ. В основу хвильової теорії покладено принцип Гюйгенса, суть якого в тому, що світлові хвилі поширюються в просторі так, що кожна точка хвильової поверхні стає джерелом нових хвиль. Для пояснення світлових явищ принцип Гюйгенса традиційно використовується в усіх навчальних посібниках. Типовим традиційним можна вважати пояснення [4, с. 277]:

«Действительно, источники света можно как бы заменить окружающей их светящейся поверхностью S с непрерывно распределенными по ней когерентными вторичными источниками. В такой формулировке прин-

цип Гюйгенса-Френеля означает, что волна, отделившись от своих источников, в дальнейшем ведет автономное существование, совершенно не зависящее от наличия источников».

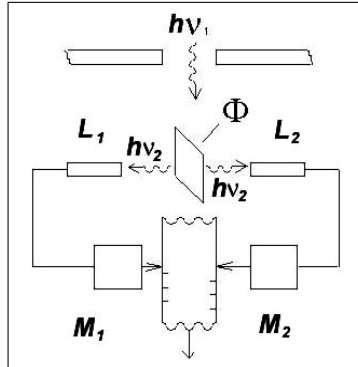


Рис. 1. Схема досліду Боте: $h\nu_1$ — слабе γ -опромінювання фольги Φ , $h\nu_2$ — перевипромінення γ -фотони, L_1, L_2 — лічильники γ -фотонів, M_1, M_2 — записуючі механізми

Однак світло крім хвильових проявляє й корпускулярні властивості, такі як фото-ефект, ефект Комптона. Яскравим підтвердженням того, що світло — це потік частинок, став дослід Боте з опромінення фольги рентгєнівськими променями, у процесі якого відбувається перевипромінювання хвиль (рис. 1), і якщо фольга Φ перевипромінює хвилю, то вона має поширюватися в усі сторони і мають спрацювати одночасно обидва лічильники L_1 та L_2 , які розміщено з різних боків фольги.

Дослід показав цілком безладне, неузгоджене спрацювання лічильників, чим однозначно було підтверджено, що фольгою в різних напрямках випромінюються частинки. Виходило, що світло, будучи хвильовим процесом, має ще й корпускулярні властивості.

Частинки світла отримали назву фотонів. **Фотони мають порцію (квант) енергії, мають імпульс, для них ще властива частота і фаза.** Таким чином, виникла корпускулярна теорія світла. За класифікацією принципів, наведених у [3], корпускулярна (квантова) теорія світла є **доповнювальною** до хвильової. При цьому треба розуміти, що вона не суперечить хвильовій, а лише доповнює її. Але чи є корпускулярна теорія дійсно **доповнювальною** до хвильової?

Для з'ясування дії принципу доповнювальності стосовно хвильової та корпускулярної теорій, принцип Гюйгенса, який є основою хвильової теорії, розглянемо з точки зору корпускулярної теорії.

Нехай джерело O випромінює світлові хвилі (рис. 2). Згідно з принципом Гюйгенса — кожна точка dS хвильової поверхні S є джерелом нових хвиль.

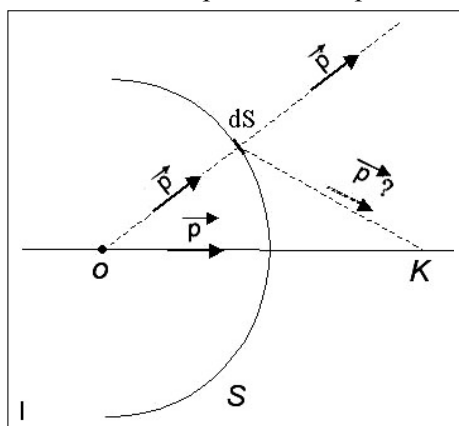


Рис. 2. Принцип Гюйгенса з точки зору корпускулярної теорії: O — точкове джерело фотонів; dS — елемент хвильової поверхні

За хвильовою теорією це означає, що фотон, який досяг елементу хвильової поверхні dS , може потрапити в будь-яку точку спостереження K . Однак із точки зору корпускулярної теорії таке неможливе, оскільки фотон має імпульс \vec{p} , який зміниться в абстрактній точці dS не може. Отже, говорити про дію принципу доповнювальності в цьому випадку проблематично, оскільки **хвильова і квантова теорії не те що не доповнюють одна одну, а й не співпадають, тобто знаходяться**

в суперечності. А це значить, що порушується інший дуже важливий принцип — принцип **узгоджувальності наслідків теорій** і означає, що якийсь із підходів є неправильним.

Знайдемо причину неузгоджувальності, підійшовши до цієї проблеми системно, оскільки вона є фундаментальною і проблемою світоглядного характеру.

Зауважимо, що до цього часу **невідомий механізм поширення електромагнітних хвиль.** Як і 100 років тому, робляться спроби розглядати світло як збурення певного середовища — «ефіру» або «вакууму» [5]. Якщо світло є збуренням певного середовища, то виникає проблема розуміння корпускулярних властивостей світла: що слід вважати частинками в умовах такого збурення? За існуючими поняттями уявити це дуже проблематично. Для аналогії спробуймо уявити, що ніби звук у повітрі також має двоїсту природу і його можна розглядати як поширення певних частинок. Для звуку навряд чи можливо таке уявити, оскільки ми знаємо, що звук — це поширення збурення в середовищі-повітрі і ніяких частинок звуку нема. Але така сама проблема й для світла, якщо вважати, що воно є результатом збурення якогось «ефіру». Тому для світла сприйнятливішим є інший підхід — корпускулярний, коли **світлові електромагнітні хвилі розглядаються не як коливання певного середовища, а як потік частинок-фотонів.** Для поширення частинок-фотонів середовище не потрібне. Однак в цьому випадку існує інша проблема — немає відповіді на питання: якщо світло — частинки, то де тут коливний процес? Де фаза? Де частота? Адже достеменно відомо, що світло — хвильовий процес.

Виходить, що ні хвильова, ні корпускулярна теорії на ряд питань відповіді не дають або точніше — відповіді хвильової й корпускулярної теорій суперечливі. Порушується принцип **узгоджувальності наслідків теорій.** Якось із теорій виявляється недостовірною. Для того, щоб внести ясність у цю проблему, проаналізуємо детальніше хвильовий та корпускулярний підходи стосовно природи світла.

Найбільш помітно, що в традиційній корпускулярній теорії світла, яке, безумовно, має хвильові властивості, відсутні характеристики коливального процесу — частота і фаза. **Виправити такий недолік корпускулярної теорії необхідно й цілком можливо.** Для цього фотони слід розглядати не просто як частинки, що мають масу і швидкість, а як частинки особливі — такі, що рухаючись, ще й перебувають у коливальному стані.

У природі такі явища і процеси добре відомі. Порівняймо рух камінця (частинку) і пташку, які переміщуються з однаковою швидкістю. Пташку, яка летить, теж можна вважати частинкою, але для неї, на відміну від камінця, властивий ще й коливальний процес — вона махає крилами. Тому, якщо розглядати фотони як частинки, що перебувають у коливальному стані, то в такому випадку для хвильової і корпускулярної теорій принцип доповнювальності та принцип **узгоджувальності наслідків теорій** реалізуються цілком.

Однак, необхідно визначити механізм коливального процесу частинки-фотона. Теорія електромагнітних хвиль Максвелла, яка перевірена тривалим практичним досвідом, дуже переконливо описує характер коливань в електромагнітній хвилі — це взаємно обумовлені коливання електричних і магнітних полів:

$$E_y = E_{0y} \cos(\omega t - kx + \psi_1), \quad H_z = H_{0z} \cos(\omega t - kx + \psi_2).$$

На рис. 3 представлено коливання векторів \vec{E} та \vec{H} електромагнітної хвилі.

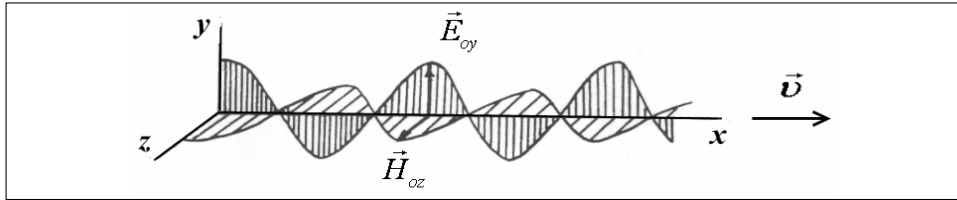


Рис. 3. Коливання електричного (\vec{E}) і магнітного (\vec{H}) полів електромагнітної хвилі; \vec{E}_{0y} , \vec{H}_{0z} — амплітуди коливань

Однак теорія Максвелла також містить у собі неясність фундаментального характеру, якої традиційно ніхто не помічає. Дійсно, звернімо увагу на те, що коливання \vec{E} та \vec{H} відбуваються з однаковою фазою, тобто $\psi_1 = \psi_2$. Це дуже важлива особливість електромагнітних хвиль: \vec{E} та \vec{H} разом зростають і разом спадають. Справа в тому, що електричне і магнітне поля мають енергію. Але так як \vec{E} та \vec{H} змінюються в часі та у просторі, то **змінюється й енергія електромагнітної хвилі**. У зв'язку з тим, що існує закон збереження енергії, постає питання: **«У що перетворюється енергія електромагнітної хвилі, змінюючись?»** Енергія магнітного поля переходить в енергію електричного поля і навпаки, як це має місце в коливальному контурі, не може, оскільки електричне і магнітне поля разом зростають і разом зменшуються.

Теорія Максвелла відповісти на це питання не може, тому потрібно глибше з'ясувати, що ж таке електромагнітна хвиля і як вона поширюється в просторі.

Для пояснення ми висуваємо гіпотезу про те, що світло — це специфічна форма руху. У фізиці ґрунтовно вивчаються такі форми руху як поступальний, обертальний, коливальний. Однак існує ще один вид руху, який добре відомий, але на який не звертають увагу, як на форму руху. У роботі [6] показано, що світло — це така форма руху матерії, коли один вид матерії (речовина) перетворюється в інший вид матерії (поле).

Приклади переходу матерії з одного виду в інший добре відомі. Так, перехід матерії з одного виду в інший відбувається при поділі важкого ядра урану під час вибуху ядерної бомби, коли частина маси ядра (речовина) переходить в енергію γ -випромінювання (поле), або при взаємодії (анігіляції) електрона і позитрона, які зникають як речовина, утворюючи два γ -кванти поля. Відомий також перехід зворотного характеру — з поля в речовину, коли при зустрічі двох γ -квантів утворюються електрон і позитрон. Такі процеси відбуваються у відповідності зі співвідношенням:

$$W = c^2 m. \quad (1)$$

Оскільки йдеться про взаємну **зміну маси і енергії**, то це має бути відображено у формулі. Тому цілком логічно формулу (1) записувати у вигляді:

$$\Delta W = c^2 \Delta m. \quad (2)$$

Таким чином, в електромагнітній хвилі реалізується безперервний періодичний процес переходу маси в енергію і енергії в масу:

$$\Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta m \rightarrow \dots \quad (3)$$

І саме цим пояснюється природа коливного процесу в електромагнітній хвилі.

Однак необхідно детальніше пояснити електромагнітну хвилю як просторове явище. Враховуючи двоїстість природи, світло слід розглядати як потік особливих частинок-фотонів, які перебувають у коливному стані [6]. Можна провести аналогію зі зграєю пташок у польоті. Кожна пташка махає крилами по різному (коливний процес). Однак можна виділити пташок, які махають крилами в однаковій фазі — разом піднімають, разом опускають. Такі пташки в просторі утворюють хвильову поверхню з певною фазою. Інші пташки утворюють хвильову поверхню з іншою фазою (рис. 4).

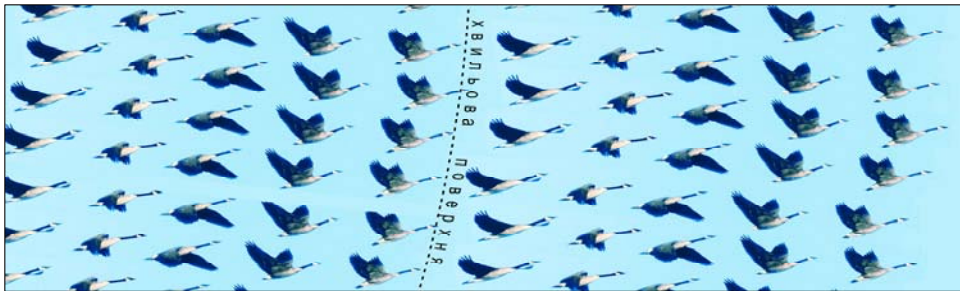


Рис. 4. Модель польоту зграї птахів як представлення руху частинок (фотонів), що перебувають в коливальному стані

Таким чином, уявлення про світло як про особливі частинки, що переміщуються зі швидкістю c , але при цьому перебувають у коливальному стані, дає можливість цілком зняти суперечності між хвильовою і корпускулярною теоріями світла. Також усуваються суперечності, які виникають у процесі розгляду інших світлових явищ з точки зору хвильової і корпускулярної теорій світла. Наприклад, дифракції.

ДИФРАКЦІЯ З ТОЧКИ ЗОРУ ХВИЛЬНОЇ І КОРПУСКУЛЯРНОЇ ТЕОРІЙ СВІТЛА

Традиційно дифракція трактується як «огибание волнами препятствий», «отклонение от прямолинейного распространения и загибание света в область геометрической тени» [7, с. 276] та розглядається виключно з точки зору хвильової природи світла. Для пояснення використовується принцип Гюйгенса-Френеля, згідно з яким хвильова поверхня розбивається на зони таким чином, що коливання у сусідніх зонах відбуваються у протифазі. Амплітуда коливань у точці спостереження K знаходиться як суперпозиція хвиль, що приходять від усіх зон (рис. 5).

Звернемо увагу, що для реального спостереження дифракції необхідна перешкода на шляху променів. Причому, **перешкода повинна мати різкі (гострі) краї** (точки M та D на рис. 5), що має принципове значення.

Однак при традиційному хвильовому розгляді явища дифракції вимога щодо різкості країв перешкоди не відіграє якої-небудь принципової ролі, а важливим стає лише кількість зон, які складаються на відкритому проміжку хвильової поверхні між різкими краями (точки M та D на рис. 5). Тобто, важливе значення має саме **відкрита ділянка** перешкоди. Це одне з проблемних питань при поясненні дифракції з точки зору хвильової теорії світла.

Ще більша проблема виникає під час розгляду явища дифракції з точки зору корпускулярного підходу — отримуються результати, які суперечать хвильовому підходу.

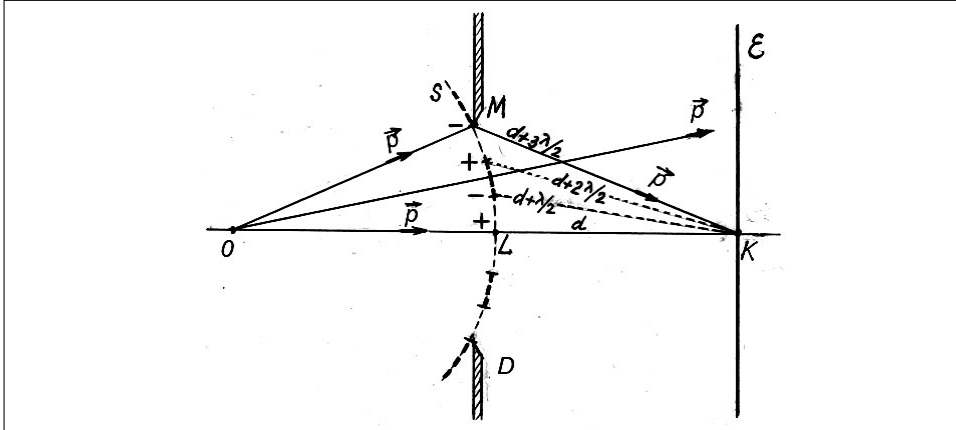


Рис. 5. Трамбування дифракції за допомогою зон Френеля. O — джерело світла; M та D — гострі краї перепони; K — точка спостереження на екрані \mathcal{E}

Дійсно, з точки зору корпускулярної теорії світла фотон, який дійшов до відкритої частини хвильової поверхні в області перешкоди (точка N , рис. 6), не може змінити напрямку свого руху і потрапити в точку спостереження K , оскільки він має імпульс і змінити його не може.

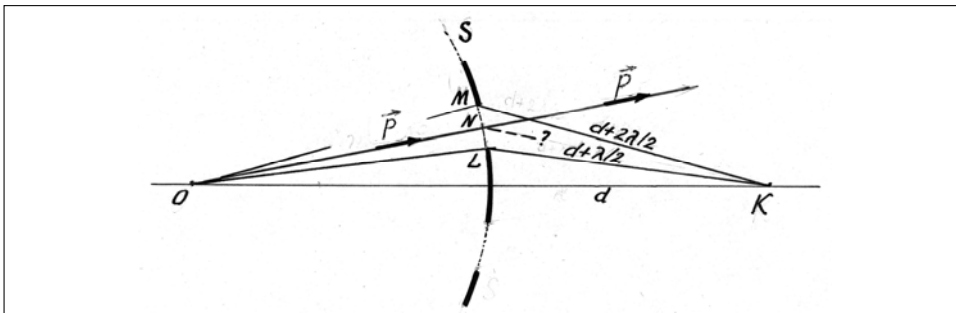


Рис. 6. Суперечність корпускулярного підходу принципу Гюйгенса: O — джерело світла; M та L гострі краї перепони; ON — напрям руху фотона; K — точка спостереження

Але змінити напрямку свого руху можуть фотони, які потрапляють на краї перешкоди (точки M та L на рис. 6). Світло взаємодіє з перешкодою і відбувається перевипромінювання фотонів. Причому, перевипромінювання може відбуватися в будь-якому напрямку — в область тіні (точка P_1) або в протилежному напрямку (точка P_2 на рис. 7).

Таким чином, при корпускулярному підході принципове значення мають саме гострі краї перешкоди, а не світлова поверхня в проміжку між ними, як це трактується при хвильовому підході.

Для підтвердження такого висновку нами було проведено дослід із дифракції лазерного променя на дифракційній ґратці (рис. 8). На екрані \mathcal{E}_1 за дифракційною ґраткою $ДГ$ виникає картина дифракційних максимумів $(-1, 0, +1, +2)$. Однак аналогічна картина максимумів виникає на екрані \mathcal{E}_2 перед дифракційною ґраткою $(+1', +2')$.

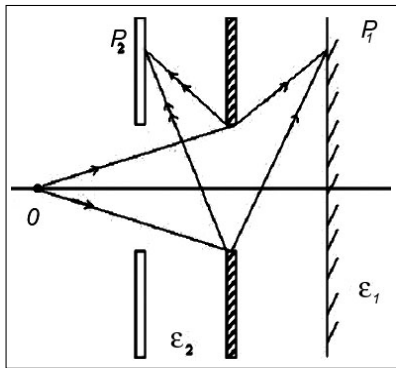


Рис. 7. Перевипромінювання світла від країв перешкоди може відбуватися як в область тіні (точка P_1), так і у зворотньому напрямку (точка P_2)

рогідність результатів корпускулярної теорії. Більше того, на основі корпускулярного підходу маємо можливість зробити висновок про те, що дифракція — це не якесь окреме фізичне явище, а є лише одним із видів інтерференції, коли когерентними джерелами є різкі краї перешкоди, які й створюють інтерференційну картину.

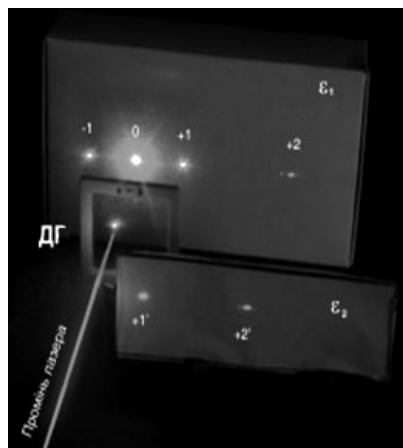


Рис. 8. Дифракція лазерного променя на дифракційній ґратці (ДГ): $\{-1, 0, +1\}$, $\{+1', +2'\}$ — дифракційні максимуми; E_1 — екран за дифракційною ґраткою; E_2 — екран перед дифракційною ґраткою ($+1', +2'$)

жину хвилі гелій-неонового лазера:

Таким чином, принципова відмінність між хвильовим і корпускулярним підходами в тому, що джерелом світла при хвильовому підході вважається відкритий проміжок хвильової поверхні, а при корпускулярному — гострі краї перешкоди, що обмежують цей відкритий проміжок. Зауважимо, що це принципова відмінність.

Вимога стосовно різкості країв перешкоди зумовлена тим, щоб забезпечити точковість джерел і виразність дифракційної картини, створюваної ними.

Отже, системний аналіз результатів застосування хвильового і корпускулярного підходів до пояснення явища дифракції світла дає можливість зробити висновок про вірогідність результатів корпускулярної теорії. Більше того, на основі корпускулярного підходу маємо можливість зробити висновок про те, що дифракція — це не якесь окреме фізичне явище, а є лише одним із видів інтерференції, коли когерентними джерелами є різкі краї перешкоди, які й створюють інтерференційну картину.

Нами поставлено експеримент, коли променем лазера освітлювалась вузька щілина і на екрані виникала дифракційна картина із максимумів і мінімумів (рис. 9).

На гострих краях S_1 та S_2 відбувається перевипромінювання світла в область тіні (точка K) і в результаті накладання спостерігається дифракційна картина із максимумів і мінімумів. Виявилось, що ця дифракційна картина цілком відповідає інтерференційній картині, якщо відстань між краями щілини вважати відстанню між когерентними джерелами, якими в цьому випадку є гострі краї щілини. За формулою для ширини інтерференційної смуги Δx при відстані між двома когерентними джерелами d (ширина щілини) та відстанню l між джерелами і екраном розраховано довжину хвилі гелій-неонового лазера:

$$\lambda = \frac{d}{l} \Delta x. \quad (4)$$

В експерименті при ширині щілини $d = 0,28$ мм, відстані від щілини до екрана $l = 100$ см на проміжку $h = 10,0$ см спостерігалось 36 максимумів (тобто, відстань між двома сусідніми максимумами $\Delta x \approx 2,8$). Розраховано за формулою (1) довжину хвилі $\lambda = 0,66$ мкм, що в межах похибки вимірювання $\Delta \lambda = 0,04$ мкм збігається з довжиною хвилі гелій-неонового лазера ($\lambda = 0,63$ мкм).

Таким чином, узгодження наслідків хвильової і корпускулярної теорій дає можливість зробити висновки стосовно явища дифракції як одного з видів інтерференції.

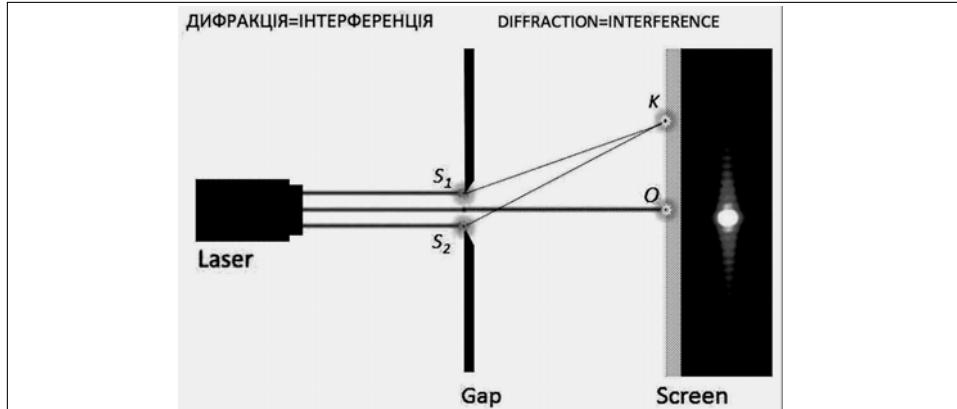


Рис. 9. Виникнення дифракційно-інтерференційної картини із максимумів і мінімумів при дифракції лазерного променя на гострих краях вузької щілини

ВИСНОВКИ

У процесі пізнання важливе значення має розбудова теорій фізичних явищ або процесів, які підлягають ряду принципів. Одним із найважливіших принципів слід вважати принцип узгоджувальності наслідків частинних теорій. Так, відсутність узгоджувальності наслідків хвильової і корпускулярної теорій світла призводить до суперечливих висновків. Суперечність хвильової і квантової теорій наочно проявляється на прикладі дифракції світла. І навпаки — суперечність повністю усувається, якщо світло розглядати з точки зору єдиної корпускулярно-хвильової теорії, коли фотони розглядаються як частинки, що перебувають у коливальному русі типу $\Delta W \rightarrow \Delta t \rightarrow \Delta W \rightarrow \Delta t \rightarrow$. Дослідження дифракції показують, що дифракція тотожна інтерференції і її особливість лише в тому, що когерентними джерелами є гострі краї перепони, на яких відбувається перевипромінювання світла.

ЛІТЕРАТУРА

1. Голин Г.М. Вопросы методологии физики в курсе средней школы: книга для учителя. — М.: Просвещение, 1987. — 127 с.
2. Мултановский В.В. Физические взаимодействия и картина мира в школьном курсе физики: пособие для учителей. — М.: Просвещение, 1977. — 167 с.
3. Каменецкий С.Е., Пурешева Н.С., Важеевская Н.Е. Теория и методика обучения физики в школе: общие вопросы: Учеб. пособие для студентов высш. пед. уч. заведений. — М.: Академия, 2000. — 368 с.
4. Сивухин Д.В. Курс общей физики. Учебное пособие для вузов. — 3-е издание. Оптика. — М.: Физматлит, 2005. — 792 с.
5. Лебедев Т.А. О некоторых дискуссионных вопросах современной физики. — Л.: Изд-во Ленинградского политехнического института, 1955. — 65 с.
6. Сусь Б.А., Сусь Б.Б. Незвичне бачення традиційних проблемних питань фізики. Науково-методичне видання. — К.: ВЦ «Просвіта», 2010. — 132 с.
7. Бутиков Е.И., Кондратьев А.С. Физика: электродинамика и оптика. — М.: Физматлит, 2008. — 336 с.

Надійшла 15.02.2012